



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ZPLYŇOVACÍ TECHNOLOGIE V ČR A V ZAHRANIČÍ

GASIFICATION TECHNOLOGIES IN THE CZECH REPUBLIC AND ABROAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Kunert

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Šimon Kunert**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zplyňovací technologie v ČR a v zahraničí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na problematiku zplyňování a zplyňovacích technologií v České republice a v zahraničí. Produkce tzv. energoplynu z biomasy a odpadů je dlouhodobě známá technologie, nicméně v posledních letech se dostává do popředí zájmu při výrobě energií z obnovitelných zdrojů nejen v ČR, ale zejména v zemích Evropské unie.

Cíle bakalářské práce:

Provedte rešerši zplyňování biomasy a odpadů.
Provedte rešerši zplyňovacích technologií.
Provedte rešerši provozovaných jednotek zplyňování v ČR i v zahraničí.

Seznam doporučené literatury:

BASU, Prabir. Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory. Amsterdam: Elsevier, c2010. ISBN 978-0-12-374988-8.

BALÁŠ, Marek. Fluidní zplyňování biomasy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2017. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. Habilitační a inaugurační spisy. ISBN 978-80-214-5479-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá zplyňovacími technologiemi v ČR a v zahraničí. První část popisuje stručnou historii zplyňování, charakteristiku děje, nejdůležitější typy zařízení určených pro tyto účely, jaké mají vlastnosti a možnosti použití v praxi. Samostatná část je věnována zplyňování biomasy. Druhá část je věnována firmám a institucím, které se této technologii věnovaly. Je zde uveden obor, v kterém se společnost pohybuje, a stručný popis jejich zařízení s konkrétním využitím v praxi.

Klíčová slova

Zplyňování, zplyňovací reaktory, možnosti zplyňování, zplyňování biomasy

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with gasification technologies in the Czech Republic and abroad. The first part describes brief history of gasification, characteristics of the process, the most important types of equipment intended for this purpose, what are their properties and possibilities of use in practise. A separate part is dedicated to biomass gasification. The second part is dedicated to companies and institution that have dealt with this technology. There is a place of business in which the company operates, and a brief description of their equipment with specific use in practice.

Key words

Gasification, gasification reactor, gasification possibilities, biomass gasification

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUNERT, Šimon. *Zplyňovací technologie v ČR a v zahraničí*. Brno, 2020. 42 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124535>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zplyňovací technologie v ČR a v zahraničí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce

.....
Datum

.....
Šimon Kunert

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Také děkuji své rodině a kamarádům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Historie zplyňování	12
3. Základní charakteristika zplyňování	12
3.1. Sušení paliva	12
3.2. Pyrolýza	12
3.3. Oxidace	13
3.4. Redukce	13
4. Typy reaktorů	13
4.1. Reaktor s pevným ložem.....	14
4.1.1. Protiproudý reaktor (up draft).....	14
4.1.2. Souproudý reaktor (down draft)	14
4.1.3. Reaktor s křížovým tokem.....	15
4.2. Reaktory s fluidním ložem.....	15
4.2.1. Reaktor se stacionární fluidní vrstvou (BFB – bubbling fluidised bed)	16
4.2.2. Reaktor s cirkulující fluidní vrstvou (BFB – circulating fluidised bed)	16
4.3. Reaktor s unášivým proudem	16
5. Zplyňování biomasy	18
5.1. Fyzikálně-chemické procesy.....	18
5.1.1. Sušení a pyrolýza.....	18
5.1.2. Oxidace.....	19
5.1.3. Redukce	19
5.2. Složení plynu vzniklého zplyňování biomasy	20
5.2.1. Dehet.....	20
5.2.2. Tuhé znečišťující látky	21
5.2.3. Sloučeniny obsahující dusík.....	21
5.3. Účinnost zplyňování	21
5.4. Čištění plynu	21
5.5. Využití	22
6. Zplyňování odpadů v reaktoru pomocí plazmy.....	22
7.1. Historie zplyňování v ČR	23
7.2. TARPO	24
7.3. Elektrárna v Kozomíně	25
7.4. Elektrárna Vřesová	25
7.5. D.S.K.	26
7.6. Dekonta.....	26
7.7. Temex	27

7.8.	Ateko (Vápenka Prachovice).....	27
7.9.	Výzkumné energetické centrum na Vysoké škole báňské (Technická univerzita Ostrava)	28
7.10.	Vysoké učení technické v Brně (Fakulta strojního inženýrství).....	29
7.11.	AIR TECHNIC	30
7.11.1.	Millenium technologies.....	30
7.11.2.	Jednotlivé fáze zpracování	30
7.11.3.	Využití plynu.....	31
7.12.	Další zařízení v České republice.....	32
8.	Zplyňovací technologie v zahraničí.....	32
8.1.	REPOTEC	32
8.2.	Westinghouse Plasma Corporation	32
8.3.	Valmet	33
8.4.	Burkhardt.....	34
8.5.	Energos.....	35
8.6.	Další zařízení v zahraničí	35
9.	Závěr	36
	Seznam použitých zdrojů	37
	Seznam obrázků	41
	Seznam tabulek	42

1. Úvod

V posledních letech se objevuje ve světě snaha najít nové obnovitelné zdroje energie, pokud možno ekologicky a ekonomicky udržitelné, které by mohly nahradit současné neobnovitelné zdroje, které zvyšují emise hlavně oxidů dusíku, uhlíku. Také se objevují pokusy najít celkové řešení nakládání s odpadem, to jak s komunálním, tak nebezpečným. Podle současných plánů by mělo dojít k zakázání veškerého skládkování už v roce 2030 a otázkou zůstává, co s odpadem, který nepůjde recyklovat. Jednou z možných alternativ, která by šla použít na oba problémy, je zplyňování. I když se jedná o proces, který byl poprvé použit už v 17. století, kdy posloužil k úpravě dřeva, k jeho masivnímu rozšíření dodnes nedošlo, to hlavně z ekonomických důvodů. To ovšem neznamená, že bychom se jím neměli zabývat. V posledních letech dochází k velkému rozvoji v technologiích, které by mohly pomoci rozšíření v praxi.

Samotné zplyňování má poměrně široké využití. První velká skupina, kde nachází uplatnění, je při výrobě energie, buď v podobě tepla, nebo v podobě elektřiny, případně kombinace obojího. Trochu starší metodou je využít zplyňování pro fosilní paliva, například pro uhlí. Oproti tradičnímu spalování zde dochází k přeměně paliva na plyn a ten se následně spálí ve spalovací turbíně. Výhodou je vyšší účinnost, tím pádem dochází k menšímu vypouštění emisí. Novějším využitím je použití obnovitelných paliv, hlavně biomasy, na místo paliv neobnovitelných. Princip je však stále stejný, biomasa se zplynčí a vygenerovaný plyn se spálí v turbíně.

K dalšímu využití patří již zmíněné nakládání s odpady. V posledních letech se objevil nový typ zplyňování, to pomocí plazmy, která má teplotu několika tisíců stupňů Celsia. Takto vysoká teplota je schopná pomocí pyrolýzy rozložit skoro jakýkoliv materiál na jednotlivé složky, které mohou následně nacházet nové využití.

Posledním využitím, které není úplně běžné a jednalo spíše o nouzové řešení, je použití zplyňování pro výrobu produktů, pro které nemáme potřebné suroviny. Nejznámější jsou případy v obou světových válkách, kdy z důvodů nedostatku ropy docházelo k zplyňování uhlí pro výrobu paliva, nebo úpravě automobilů na dřevoplyn.

Rešerše se zaměřuje na současné využití zplyňování v praxi, na možnosti, které tato technologie přináší, na výhody ale i nevýhody, které mohou stále být překážkou pro velké rozšíření v praxi.

2. Historie zplyňování

První pokusy, co se zplyňování týče, se začaly objevovat už v 17. století, kdy si lidé povšimli uvolňování plynu při suché destilaci dřeva. První patent, který je zaznamenaný s touto technologií, je z roku 1788, tehdy stále bez praktického využití. První člověk, o kterém víme, že využil zplyňování v praxi, byl Wiliam Murdoch. Ten si takto zajistil osvětlení svého domu. Za úspěšnou konstrukci však považujeme až reaktor od bratří Siemesů v roce 1861. Dalším významným krokem vpřed byl čtyřtákní motor na generovaný plyn od Nicolase Augusta Otta, odsud také výraz plynový pedál. K většímu rozvoji poté dochází až v první polovině dvacátého století, kdy byl vynalezen fluidní zplyňovací generátor na uhelný prach od Winklera, souproudý zplyňovací reaktor od Imberta, tlakový reaktor s pohyblivým ložem od firmy Lurgi a reaktor s unášivým proudem od pánů Koppers. Nesmíme ani zapomenout na zplyňování dřeva a uhlí u vozidel během druhé světové války, kdy se takto řešil nedostatek ropy. S jejím koncem však dochází k útlumu zplyňovacích technologií, protože se objevují nové a hlavně levnější varianty pro výrobu elektrické energie a tepla. Uhlí pro výrobu benzínu je postupně nahrazeno ropou [1].

3. Základní charakteristika zplyňování

Cílem zplyňování je termochemická přeměna uhlíkatých materiálů v pevném či tekutém stavu na plyn, který je složen z výhřevné složky (vodík, metan atd.), doprovodné složky (oxid uhličitý, vodní pára, atd.) a znečišťující složky (síra, prach, dehet, atd.). Tato přeměna probíhá v reaktoru za přístupu zplyňovacího media (vzduch, kyslík, pára) a potřebného reakčního tepla. Získaný plyn se poté využívá hlavně k výrobě tepelné a elektrické energie a to při vyšší účinnosti než při běžném klasickém spalování v kotli. Dochází zde k mnohým chemickým reakcím a pochodům, kam řadíme například pyrolýzu, tepelné štěpení par na plyn a pevný uhlík, zplyňování pevného uhlíku pomocí vodních par, nebo oxidem uhličitým, částečnou oxidací plynu, pevného uhlíku a dalších složek. Čtyři základní termochemické procesy, které využíváme jsou [1,2]:

- **Sušení paliva**
- **Pyrolýza**
- **Oxidace**
- **Redukce**

Tyto pochody na sebe navazují a v závislosti na typu reaktoru, kde dochází ke zplyňování, můžeme jednotlivé fáze oddělit (např. u reaktoru s pevným ložem) nebo je nemůžeme oddělit, protože probíhají všechny současně (např. u fluidního reaktoru) [1,2].

Tyto základní procesy jsou ovlivňovány složením paliva (jeho vlhkostí), reakčním povrchem, provozní teplotou a tlakem reaktoru, zplyňovacím médiem, dobou složek strávenou v reaktoru, teplotním profilem reaktoru a dalšími věcmi. Jednotlivé základní procesy, jsou zde rozepsány podobněji [1,2].

3.1. Sušení paliva

Palivo se ohřívá z důvodů odstranění přebytečné vody, která se buď ještě využije při chemických reakcích, nebo odchází ve vzniklém plynu pryč. Sušení se provádí do teploty 200°C, kdy výsledná vlhkost v palivu je ideálně 15 % [1].

3.2. Pyrolýza

Jedná se o proces, při kterém dochází k tepelnému rozkladu látek bez přístupu kyslíku či vzduchu (oxidačního media). Výsledné produkty jsou v tuhém, kapalném a plynném skupenství a jejich vznik ovlivňuje složení paliva a podmínky pyrolýzy. Pyrolýza se týká

i pevných a plynných fází, souvisí s kvalitou výsledných produktů. Podle teploty, kdy probíhá, ji dělíme na tři skupiny [1,3]:

- Nízkoteplotní pyrolýza (do 500°C)
- Středněteplotní pyrolýza (od 500°C do 800°C)
- Vysokoteplotní pyrolýza (nad 800°C)

Pyrolýzu můžeme nadále rozdělit na pomalou a rychlou, přičemž obě jsou v procesu zplyňování využívány a ovlivňují výsledné skupenství plynné, kapalné i tuhé fáze. Pomalou pyrolýzou získáváme tuhý pyrolýzní zbytek, který je složen z větší části tuhým uhlíkem, polokoksem (cca 80-85 %), z menší části prchavými látkami (15 až 20 %), popelem (0 až 2 %), případně pyrolýzní kapalinou (pyrolýzní olej). Produktem rychlé pyrolýzy jsou hlavně plynné produkty, už zmiňovaný oxid uhlíčitý, oxid uhelnatý atd. [1,3].

3.3. Oxidace

K oxidaci dochází v části přívodu zplyňovacího media, kde probíhá exotermická reakce (spalování), která často dodává potřebné teplo pro endotermickou reakci zplyňování. V oblasti vstupu zplyňovacího media, obvykle vzduchu nebo kyslíku, se tvoří oxidační vrstva o teplotě 800 až 1500 °C [1].

3.4. Redukce

Při tomto procesu dochází k výrobě plynného paliva, kdy spalitelná část plynu se tvoří redukcí z oxidu uhlíčitého, oxidu uhelnatého (Boudouardova rovnice) a vodní páry (heterogenní reakce vodního plynu). Během těchto reakcí navíc uhlík reaguje s vodíkem a tvoří methan. Všechny tyto reakce probíhají bez přístupu kyslíku, což způsobuje snížení teploty plynu a zároveň se většina uhlíku spálí, zredukuje na oxid uhelnatý, nebo odchází ve formě nedopalu v popelu z reaktoru [1].

4. Typy reaktorů

Během let bylo zkonstruováno několik typů reaktorů, které se používají ke zplyňování. Mají rozdílné výkony podle podmínek, které v nich panují. Výsledné plyny, v závislosti na reaktoru, mají různé složení, znečištění a teplotu. Jednotlivé reaktory můžeme dělit podle různých kritérií:

1. Podle zplyňovacího media
 - 1.1. Parní
 - 1.2. Kyslíkové
 - 1.3. Vzduchové
 - 1.4. Parokyslíková směs
2. Podle zdroje tepla
 - 2.1. Autotermní (přímé zplyňování)
 - 2.2. Alotermní (nepřímé zplyňování)
 - 2.3. Kyslíkové
3. Podle tlaku v reaktoru
 - 3.1. Tlakové
 - 3.2. Atmosférické
4. Podle konstrukce reaktoru
 - 4.1. S pevným ložem
 - 4.2. S fluidním ložem
 - 4.3. S unášivým proudem
 - 4.4. Plazmový reaktor

Nejčastější dělení, které se využívá, je podle konstrukce reaktoru, proto jsem ho využil i já a zaměřil jsem se na jednotlivé typy podrobněji [1,4,5].

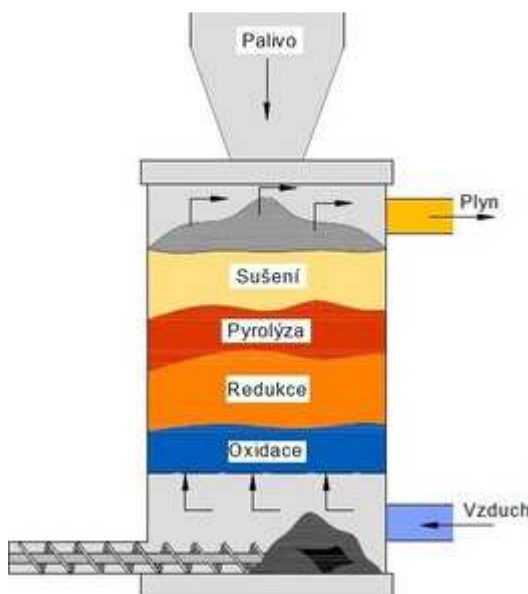
4.1. Reaktor s pevným ložem

Tento typ reaktorů je ze všech nejběžnější a můžeme ho nadále rozdělit na tři podskupiny, reaktory s pevným ložem, s fluidním ložem nebo s křížovým tokem. Používá se například ke zplyňování biomasy (atmosférické provedení), nebo uhlí (tlakové provedení). Teplo, které je nutné ke zplyňování, se získává buď autotermní reakcí (přímým zplyňováním), což znamená spalováním paliva, nebo alotermní reakcí (nepřímým zplyňováním) pomocí výměníku tepla. U tohoto typu reaktorů bývá častý problém v podobě s klenbováním vrstvy paliva, což způsobuje, že výsledný plyn má rozdílné složení. Je zde požadavek na palivo, jehož granulometrie smí být od 5 do 100 mm, musí být homogenního tvaru a složení. Výhodou je jednoduchá konstrukce proti ostatním typům [1,5].

Jednotlivé reaktory s pevným ložem:

4.1.1. Protiproudý reaktor (up draft)

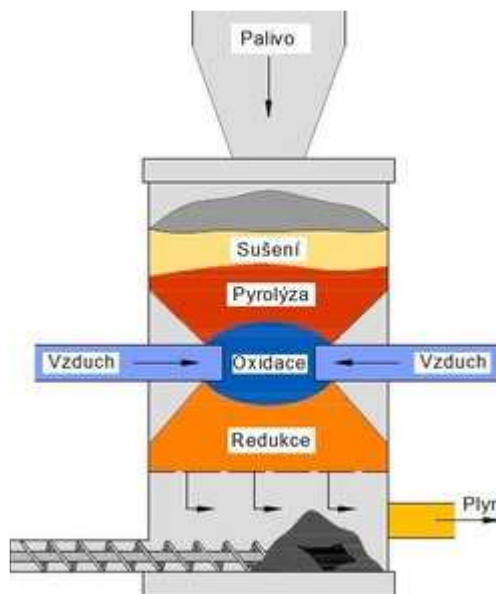
Ze všech typů reaktorů je tento nejrozšířenější a zároveň i nejjednodušší. Palivo je do reaktoru přiváděno z vrchu a postupně se přesouvá dolů. Zplyňovací medium (např. vzduch) je přiváděn dospodu, stoupá vzhůru proti palivu a postupně prochází všemi zplyňovacími procesy. Medium se postupně ochlazuje pod 250°C , díky čemuž pojme produkty z pyrolýzy. V dolní části se nachází zařízení na odvod popela. Protiproudý reaktor má výhodu, že zplyňuje různé druhy paliv, včetně těch, které obsahují vyšší vlhkost vzduchu (až do 30 %). Vzniklý plyn má výhřevnost 6 MJ/Nm^3 , současně i nízkou teplotu. Nevýhodou je vyšší obsah produktů z pyrolýzy a dehtu [1].



Obr. 4.1 Schéma protiproudého reaktoru [1].

4.1.2. Souproudý reaktor (down draft)

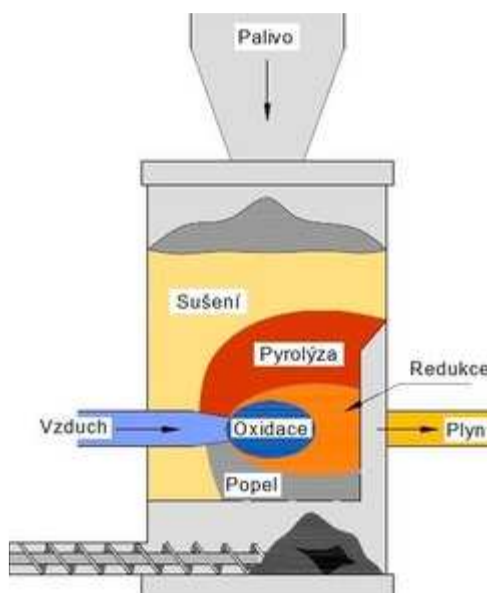
Souproudý reaktor využívá přívod paliva do horní části jako protiproudý, ale medium je přiváděno z boku. Výsledný plyn je odváděn spodem, podobně jako popel. Procesy, které zde probíhají, jsou stejné jako u předcházející reaktoru, avšak pořadí je jiné. Výhřevnost výsledného plynu je 5 MJ/Nm^3 . Výhodou tohoto typu zplyňování je menší obsah dehtu, nevýhodou je vyšší teplota výsledného plynu, více prachových částic a nutnost lepšího paliva [1,4].



Obr. 4.2 Schéma souprouděho reaktoru [1].

4.1.3. Reaktor s křížovým tokem

Reaktor se využívá na zplyňování dřevěného uhlí hlavně za velmi vysokých teplot, až 1500°C, což vyžaduje využití vhodných materiálů pro výrobu, které snesou takto vysoké teploty. Další nevýhodou jsou vysoké nároky na kvalitu paliva a nízká schopnost rozkladu dehtu. Výhodou je velmi čistý plyn, který není nutné tolik čistit, postačuje pouze cyklon a filtr [1].

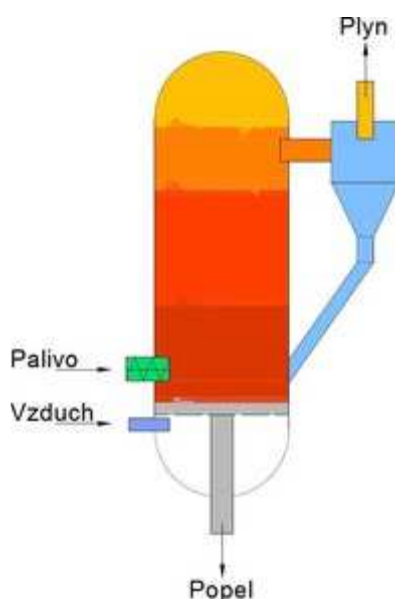


Obr. 4.3 Schéma reaktoru s křížovým tokem [1].

4.2. Reaktory s fluidním ložem

Oproti reaktorům s pevným ložem se zde nedají jednotlivé procesy oddělit, protože probíhají v celém reaktoru současně. Pouze v oblasti přívodu vzduchu (případně jiného media) se dá

mluvit o oxidaci, případně redukci. Původně byl tento reaktor vyvinut pro zplyňování uhlí, ale v dnešní době je využíván hlavně ke zplyňování biomasy, která se nedá tak dobře zpracovávat v reaktorech s pevným ložem, kde dochází k problémům s malými částicemi kvůli ucpávání, nerovnoměrnému rozložení teplot, zplyňování paliva s vysokým obsahem popela, klenbování vrstvy paliva a tvorbě kanálků. Samotné zplyňování probíhá následovně. Palivo (piliny, štěpka) a inertní materiál leží na porézním dně, vespodu je přívod zplyňovacího media (vzduch, kyslík), který způsobí překonání tíhové síly materiálů a ty začnou v reaktoru vířit, což způsobí rozpínání materiálu a zmenšení jeho hustoty. Směs se chová podobně jako kapalina. Tento stav nazýváme fluidací. Inertní materiál se na začátku a ohřívá pomocí uhlí, kdy po jeho spálení se začíná do reaktoru přivádět biomasa. 25 % biomasy se spálí a 75 % se zplyní při teplotě 700 až 900°C. Vyšší teplota je žádoucí, protože nevzniká tolik dehtu, ale příliš vysoká teplota už taky není chtěná z důvodů aglomerace částic, což by mohlo vést ke zvýšení hmotnosti, objemu a spojení vrstev. To by způsobilo defluidaci a reaktor by nepracoval tak, jak má [1,4,5].



Obr. 4.4 Schéma fluidního reaktoru [1].

Jednotlivé reaktory s fluidním ložem:

4.2.1. Reaktor se stacionární fluidní vrstvou (BFB – bubbling fluidises bed)

U reaktoru můžeme najít hranici mezi fluidní vrstvou a prostorem nad ní, je zde jasná hranice. Obsah dehtu v palivu je okolo 1-2 % [1].

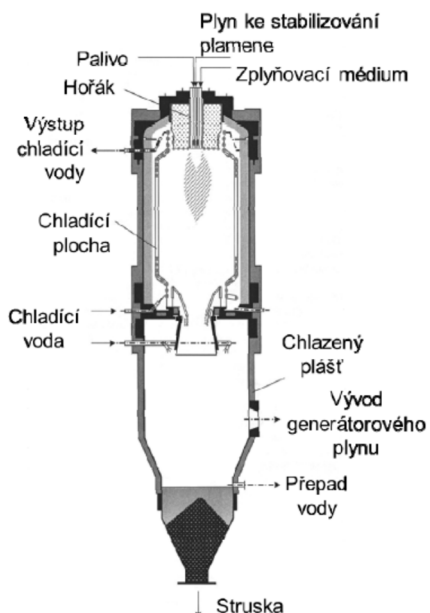
4.2.2. Reaktor s cirkulující fluidní vrstvou (CFB – circulating fluidises bed)

Oproti reaktorům BFB zde nemůžeme nalézt hranici vrstvy. Hustota vrstvy se mění s výškou v reaktoru, u dna je největší, u stropu nejmenší. Částice, které jsou unášeny vzhůru, se zachytávají v cyklonu, odkud se vrací zpět do nižších vrstev, díky čemuž dochází k lepšímu využití paliva (zreaguje více uhlíku) než u BFB reaktorů [1].

4.3. Reaktor s unášivým proudem

V těchto reaktorech probíhá proces za vysokých teplot, 1300 až 1600°C, a obvykle za vysokého tlaku 2 až 7 MPa. Částice paliva zůstávají v generátoru velice krátkou dobu, méně jak 1 sekundu, a popel odchází v kapalně podobě ve formě strusky. Vzniklý plyn je dále zpracováván při technologiích pracujících za tlaku (výroba methanu, amoniaku). Tento typ zpracování má velmi vysokou konverzi paliva (až 99 %) a díky vysokým teplotám má vzniklý plyn i velkou čistotu. Nejsou v něm téměř nižší uhlovodíky a dehet. Plyn je složen z vodíku (více než 80 %

objemu) a oxidu uhličitého. Díky tomu je vhodný jako syntézní plyn v chemickém průmyslu. Mezi nevýhody patří vyšší nároky na přípravu paliva, které se musí upravit do podoby prášku či suspenze. Na druhou stranu můžeme jako palivo použít i popelavé materiály, avšak částice musí být menší než $100\mu\text{m}$. Tuto podmínku je možné splnit u uhlí, kapalných paliv, ale i u biomasy. U biomasy je nutná termická předúprava, protože má vláknitou strukturu. Předúprava zvyšuje energetickou hustotu dávkovaného paliva. [5]



Obr. 4.5 Schéma reaktoru s unášivým proudem [5].

Tabulka 4.1: Typické vlastnosti zplyňovacích generátorů - palivo dendromasa [5]

Typ reaktoru	Výkon [MW]	Vstupní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Dehet [g m^{-3}]	Prach [g m^{-3}]	Požadavky na kvalitu paliva
Souproudý	<1	500-850	0,1-2	0,1-1	Vysoké
Protiproudý	0,5-50	70-300	10-100	0,1-0,5	Střední
Stacionární fluidní	1-15	700-900	1-20	20-100	Nízké
Cirkulační fluidní	10-150	750-950	1-20	5-50	Nízké
Hořákový	10-250	1000-1600	xxx	xxx	Vysoké

Tabulka 4.2: Požadavky na kvalitu paliva pro jednotlivé typy generátorů [5]

Parametr	Typ generátoru			
	Sesuvný protiproudý	Sesuvný souproudý	Fluidní	Hořákový
Velikost částic [mm]	5-100	20-100	1-100	<0,1
Vhkost [hm.%]	<50	15-20	<40	<15
Popel [hm.%]	<15	<5	<20	<20
Sypká hmotnost [kg m^{-3}]	>400	>500	>100	>400
Teplota tavitelnost popela [$^{\circ}\text{C}$]	>1000	>1250	>1000	>1250

5. Zplyňování biomasy

V posledních letech je čím dál větší snaha o zvětšení podílu zdrojů obnovitelné energie v České republice. Kromě všeobecně známých možností jako je větrná, sluneční, vodní energie, případně ty méně známé jako je geotermální energie, energie přílivu a odlivu. Mezi další obnovitelné zdroje energie, které známe, patří i různé využití biomasy. Ta nachází uplatnění v bioplynových stanicích, spalování nebo při zplyňování. Oproti běžnému spalování, kdy palivo je hlavně využíváno v podobě zdroje tepla, zde dochází k větší účinnosti. Výsledný plyn se dá použít nejen na vytápění, ale i jako palivo na výrobu elektrické energie, nebo pro výrobu dalších paliv [2,5].

Zplyňování biomasy probíhá na základě podobných pochodů, které jsou popsány v předchozí kapitole. Jedná se o sušení, pyrolýzu, oxidaci a redukci. Zde jsou uvedeny konkrétní rovnice a další kroky při zpracování biomasy. Při zplyňování jsou většinou procesy sušení, pyrolýzy a redukce děje endotermické, což znamená, že spotřebovávají teplo. Toto teplo můžeme při zpracování biomasy získat dvěma způsoby, na základě čehož známe dva základní druhy zplyňování biomasy, autotermní (přímé zplyňování) a alotermní (nepřímé zplyňování) [2,5].

Při autotermním zplyňování potřebné teplo získáváme při oxidaci, zjednodušeně spalováním (hořením) zplyňovaného materiálu. Jako zplyňovací medium se používá vzduch, což má ale nechtěný následek přívod dusíku, jenž snižuje výhřevnost plynu, ta se pohybuje od 2,5 do 8 MJ/Nm³. Částečně se dá proti tomuto kroku bránit přívodem čistého vzduchu, to nám ale prodražuje jak výstavbu, tak i následný provoz zplyňovacího zařízení. Pro získání potřebné energie spotřebujeme cca 25 % přivedeného paliva [2,5].

Při alotermickém zplyňování je potřebné teplo přivedeno z okolního prostředí. Známe několik možností, jak toho dosáhnout přenosem tepla teplosměnnou plochou, přenosem tepla obsaženém v inertním materiálu (např. písek), nebo ohřevem vstupních materiálů (zplyňovacího media, paliva). Většinou je přívod paliva zajištěn v mediu v podobě vodní páry. Výhodou oproti předchozímu způsobu je vyšší výhřevnost plynu, až 14 MJ/Nm³. Nevýhodou jsou vyšší vstupní náklady na výstavbu [2,5].

Výsledný plyn má různé vlastnosti hlavně v závislosti na použití zplyňovacího způsobu a na zplyňovacím mediu. Můžeme ho rozdělit do dvou skupin na energetický plyn, ten nachází uplatnění k topným účelům, nebo přeměně na tepelnou a elektrickou energii a na syntézní plyn, jenž se používá jako meziprodukt při přeměně pevných paliv a odpadů na chemické produkty, jako je nafta, benzín, vodík, methanol a další.

5.1. Fyzikálně-chemické procesy

Reakce při zplyňování nelze jednoduše popsat, aniž bychom nevyužili částečného zjednodušení. Chemické reakce se dají rozdělit podle různých hledisek, většinou se uvádí postupně, jak jdou v reaktoru za sebou. V tomto případě podle reaktoru souproudeho. Známe čtyři pásma: sušící, pyrolýzní, redukční a oxidační [1,5].

Ještě před samotnou reakcí paliva dochází ve spodní části k ohřevu zplyňovacího media, které musí obsahovat kyslík. Zde je uveden popis dvou ze čtyř pásem a to oxidaci a redukci, kde můžeme popsat základní rovnice [1,5].

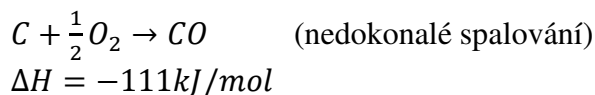
5.1.1. Sušení a pyrolýza

Pro tyto procesy nemáme žádné zjednodušené rovnice. Při sušení dochází k odstranění veškeré vody a nejprchavějších hořavin. Pyrolýza, jak už bylo zmíněno v úvodu, je tepelný rozklad bez přístupu kyslíku, či vzduchu a probíhá zde pouze nízkoteplotní a středněteplotní pyrolýza [1,3,5].

5.1.2. Oxidace

Další je pásmo oxidační, kde probíhá oxidace uhlíku a plyných produktů pyrolýzy. Jedná se o rychlou exotermickou reakci, při níž vzniká teplo potřebné pro následující děje. Teplota děje v závislosti na poloze a je od 800 do 1500°C. Oxidaci můžeme popsat pomocí následujících rovnic [1].

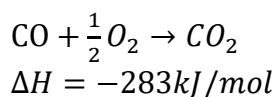
- Částečná oxidace pevného uhlíku



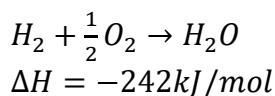
- Úplná oxidace pevného uhlíku



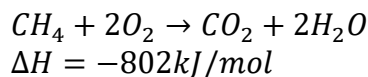
- Oxidace oxidu uhelnatého



- Oxidace vodíku



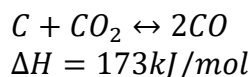
- Oxidace methanu



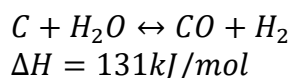
5.1.3. Redukce

Spalitelné složky vzniklého plynu vznikají redukcí vodní páry na vodík, oxidu uhličitý na oxid uhelnatý (Boudouardova rovnice). Zároveň dochází k reakci uhlíku s vodíkem, jejímž výsledkem je methan. Většina těchto reakcí je endotermických a potřebné teplo získávají z předešlé oxidace, díky níž zde není kyslík, který by zde reagoval. Tím pádem zde klesá teplota získaného plynu. Redukci můžeme popsat pomocí následujících rovnic [1].

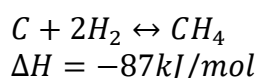
- Boudouardova rovnice



- Heterogenní reakce vzniku vodního plynu

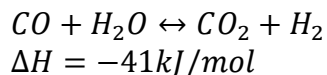


- Heterogenní vznik metanu

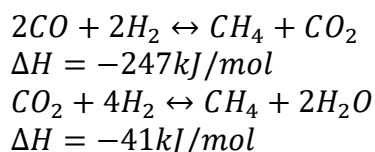


Kromě zmíněných reakcí, probíhají v redukčním pásmu i tyto rovnice.

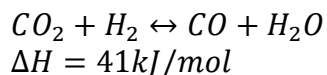
- Homogenní reakce vodního plynu



- Homogenní vznik metanu



- Homogenní redukce oxidu uhličitýho



5.2. Složení plynu vzniklého zplyňování biomasy

Generátorový plyn se skládá z několika složek. Hlavní složkou jsou výhřevné permanentní plyny jako je vodík, oxid uhelnatý a methan. Dále ve složení nalezneme balastní permanentní plyny, dusík, oxid uhličitý a vodní páru. V některých literaturách a zdrojích je můžeme najít pod označením doprovodné složky. V přiložené tabulce jsou přibližné hodnoty jednotlivých složek v plynu, v závislosti na typu reaktoru [2,5].

Tabulka 5.1: Vlastnosti produkovaného plynu [6]

Složení plynu	Typ reaktoru		
	Protiproudý	Souproudý	Fluidní
H ₂ [%]	10-15	15-20	10-15
CO ₂ [%]	15-20	8-15	15-20
CO [%]	15-20	25-30	15-20
CH ₄ [%]	2-5	1-1,5	1-3
C ₂ ⁺ [%]	5	<1	2-3
N ₂ [%]	43-47	45-50	45-55
Prach [g·m ⁻³]	1-20	1-20	5-50
Dehet [g·m ⁻³]	>100	0,1-1	1-20
Výhřevnost [MJ·m ⁻³]	5,5-7	5-6,5	4,5-5
Výstupní teplota [°C]	150-300	750-850	600-750

Poslední složkou jsou nečistoty. Ty můžeme rozdělit do několika podskupin, tuhé znečišťující látky, dehet, sloučeniny obsahující dusík, alkalické sloučeniny, sloučeniny síry, sloučeniny halogenů. Ty nejdůležitější jsou rozepsané podrobněji [7].

5.2.1. Dehet

Nejvýraznější složkou je právě dehet. Většinou se vyskytuje v podobě viskózní kapaliny s charakteristickým zápachem. Vzniká během pyrolýzy, jedná se o směs látek s různou strukturou a chemickou povahou, bodem varu vyšším než benzen. Dehet vzniká u všech typů zplyňování a nedá se mu zabránit. Jeho vznik je ovlivněn podobnými faktory jako samotný plyn. Obecně se dá ale říci, že čím vyšší teplota zplyňování, tím nižší obsah dehtu, zároveň dehet vzniklý za vysoké teploty má hůře odstranitelné složky než ten, který vznikl za nízké teploty. Dělíme ho do skupin podle stupně jeho transformace [7].

- Primární dehet – kyseliny, aldehydy, furany, alkoholy atd.
- Sekundární dehet – stabilnější fenoly, olefiny atd.
- Terciální dehet – alkylaromáty, PAH (naftalen, pyren atd.)

Dehet způsobuje hlavní problémy při zplyňování, protože se může poškozovat technologie používané při výrobě, prodrazňovat provoz a znečišťovat výsledný plyn. V současné době se pro měření dehtu používá TAR protocol, který určil jednotlivé metody pro měření a zpracování vzorků [8].

5.2.2. Tuhé znečišťující látky

Tato část znečištění zahrnuje nečistoty, které vychází ven z reaktoru společně s plynem. Většinou se jedná zbytky paliva, nezplyněný uhlík (polokoks), anorganické látky (popel), inertní materiál u fluidního zplyňování (písek) [7].

5.2.3. Sloučeniny obsahující dusík

Ve vyrobeném plynu se vyskytují sloučeniny dusíku, často v podobě molekul N_2 . Tyto látky se snažíme eliminovat co nejvíce můžeme, protože při spalování generovaného plynu se tyto sloučeniny podílejí na tvorbě oxidů NO_x . Vzhledem k čím dál přísnějším limitům, které začínají platit, je důvod omezený jasný. Nejčastěji se dusík v plynu vyskytuje v podobě amoniaku, méně často v podobě kyanovodíku [7].

Je potřeba si uvědomit, že úplně přesné složení generovaného plynu se nedá určit. Kromě toho, že závisí na typu zplyňovacího reaktoru a zplyňovacím mediu, tak závisí i na samotném palivu, které nemusí být vždy stejné, případně na konkrétních podmínkách v reaktoru, jež se mohou také mírně lišit. Všechny tyto aspekty, z nichž část můžeme ovlivnit jen částečně, se podílejí na výsledném složení, z těchto důvodů nedokážeme přesně určit generovaný plyn [5].

5.3. Účinnost zplyňování

Co se týká účinnosti zplyňování, tak ta se dá vyjádřit různými způsoby. Nejčastěji se používají celková účinnost reaktoru (generátoru), nebo účinnost výroby chladného plynu. Celková účinnost reaktoru η_{OE} , je podíl celkové energie výstupního proudu na výstupu z reaktoru k celkové energii vstupního proudu. Účinnost výroby chladného plynu je podíl chemické energie plynu na výstupu z reaktoru k chemické energii původního paliva při tlaku 101 325 Pa a teplotě $0^\circ C$, nebo $25^\circ C$. Celkově platí, že vyšší teploty dosáhneme v samotném reaktoru, tím je menší účinnost výroby chladného plynu [5].

5.4. Čištění plynu

Ve výsledném plynu kromě žádoucích složek se nachází i znečišťující látky, které jsou nežádoucí, proto je snaha jich co nejvíce odstranit. Míra znečištění je závislá na kvalitě paliva a technologii zplyňování. Podle následného využití generovaného plynu, se snažíme odstranit jednotlivé nečistoty. Například plynový motor potřebuje palivo s nízkým obsahem dehtů, ale přítomnost sloučenin síry, mu tolik nevádí. U vysokoteplotních článků je tomu přesně naopak. Plyny pro výrobu alternativních paliv pak vyžadují co nejčistší plyn [5].

Pro samotné čištění existují dva postupy - primární opatření a sekundární opatření. Při první variantě se snažíme zabránit vzniku nečistot už při samotném vzniku generovaného plynu. Tyto metody nachází uplatnění v samotném reaktoru, kdy se snažíme předpřipravovat samotné palivo, měníme podmínky zplyňování jako je teplota a tlak. U fluidních reaktorů se dají přidávat katalyzátory do fluidního lože [5].

Při sekundárním opatření čistíme palivo až po jeho samotném vzniku, kdy přidáváme různé filtry, cyklóny, mokré vypírky a katalyzátory. Hlavně katalyzátory ovlivňují, zda použijeme nízkoteplotní čištění, kdy je plyn zchlazen a dochází zde ke kontaktu s kapalinou (vodou či olejem). Plyn se zchladí pod teplotu varu chladicí kapaliny. Problém může být, že některé

postupy pro čištění vyžadují vyšší teploty a plyn by se musel zpětně ohřívat. Proto se také někdy využívá vysokoteplotní čištění, které je z hlediska ztrát lepší, zde se nachází uplatnění sorpční a katalytické metody pro vyšší teploty. Samotné katalyzátory dělíme na přírodní, jako je olivín, oxidy železa, vápenec, dolomit, magnezit atd., a syntetické, které jsou účinnější a taky dražší, kam řadíme koks, krakovací katalyzátory, aktivovaná alumina, katalyzátory s přechodovými kovy atd. [5].

5.5. Využití

Plyny vyráběné v reaktorech dělíme na dva typy, nízko-energetický plyn a středně-energetický plyn. První typ vzniká při autotermním zplyňování (část paliva se spálí jako zdroj tepla) a jeho výhřevnost se pohybuje v rozmezích od 2,5 do 8 MJ/Nm³. Využití nachází z větší části jako otop v průmyslu, nebo při spalování za účelem výroby tepla a elektrické energie, kdy dochází ke spalování v plynovém motoru, který neklade tak vysoké nároky na palivo. Motor pohání generátor pro výrobu elektřiny. Je i možnost nahradit plynový motor spalovací turbínou, ta sice má větší účinnost, ale je na výstavbu o dost dražší a vyžaduje lepší palivo (často středně-energetický plyn) [5]. V tabulce jsou uvedeny hodnoty jednotlivých složek pro určitý typ spalovacího zařízení.

Tabulka 5.2: Provozní požadavky na obsah nežádoucích látek v plynu [6]

Sloučenina	Spalovací motor	Spalovací turbína	Palivové články
Dehet [mg·m ⁻³]	<50	<5	<1
Prach [ppm]	<5	<1	<0,1
H ₂ S [ppm]	n.d.	<1	0,06 ¹
HCl [ppm]	n.d.	<0,5	<0,01 ²
Alkálie (Na,K,Li) [ppm]	n.d.	<0,1	n.d.
NH ₃ ³	Není limitována	Není limitována	n.d.

n.d. - není definována

¹celková síra

²celkový chlór

³Zvyšuje emise No_x

Druhý typ plynu vyrábíme při autotermním zplyňování paro-kyselých směsí, nebo při alotermním zplyňování vodní párou (teplo se přivádí z okolí). Výhřevnost plynu se pohybuje mezi od 10 MJ/Nm³ výš. I zde dochází k využívání plynu pro výrobu elektřiny a tepla (vyšší účinnost než u prvního typu plynu), dále nachází uplatnění při syntéze, například při výrobě plynných a kapalných paliv [5].

6. Zplyňování odpadů v reaktoru pomocí plazmy

Cíle zplyňování odpadů jsou podobné jako při tom klasickém. Snažíme se rozložit palivo (odpad), pokud možno na jednoduché molekuly, které se dají použít pro výrobu syntézního plynu. Jedná se o ekologickou metodu likvidaci odpadů. Oproti zplyňování biomasy, nebo uhlí, zde nachází uplatnění hlavně vysokoteplotní pyrolýza, která probíhá za mnohem vyšších teplot (až 10 000°C) [9].

Jako palivo pro zplyňování slouží odpad. Používá se komunální odpad, bioodpad, kaly z čištění odpadních vod, ale i nebezpečný odpad. V závislosti, který z odpadů použijeme jako palivo, se musí udělat předpříprava. Pevné odpady se musí namlet na granule, pomocí nichž jsme schopni zajistit homogenní směs, která je jednodušší na přepravu, lépe se dávkuje a zpracovává se. Bioodpady a kaly se nejdříve musí vysušit, teprve potom mohou být dále zpracovány. Odpad je poté dávkován do reaktoru, kde se nachází plazmový hořák, díky němuž dochází k samotnému zplyňování. Hořák se skládá ze dvou grafitových elektrod, mezi kterými je proud, díky čemuž vzniká elektrický oblouk, ke kterému se použije plazmový plyn (argon,

dusík, vzduch). Nejčastější plazmový plyn, který se využívá, je vzduch, za což vděčí hlavně jeho dostupnosti a nízké ceně. Ten umožní dosažení teploty od 2 000 do 10 000 °C, ta už je dostatečně vysoká, aby docházelo k rozpadu odpadu na jednoduché plynné a kapalné složky. Výsledný syntézní plyn se skládá převážně z vodíku a oxidu uhelnatého, jsou zde zastoupeny i jiné složky v podobě chlorovodíku, vodní páry, oxidu siřičitého a další. Tento plyn se používá hlavně v kogeneračních jednotkách pro výrobu elektřiny a tepla, ty se vyznačují vysokou účinností skoro až 90 %. Část odpadu, jež se nezplynuje, tvoří kovovou strusku na dně reaktoru. Ta se dále vitrifikuje, čímž se zajistí fixace toxického odpadu. Vetrifikace je proces zesklennění, kdy výsledný produkt má využití například ve stavebnictví [9].

Velkou výhodou, jak už bylo zmíněno na začátku, je ekologické hledisko. Podle současných plánů Evropské komise by od roku 2030 mělo dojít k zákazu skládkování jakéhokoliv materiálu, což znamená, že odpady se budou muset zpracovávat. Část odpadu se dá recyklovat, ale část nelze. Zplyňování pomocí plazmy nabízí oproti běžnému spalování výhodu v podobě menších emisí, lepšího energetického využití oproti spalovnám a odpadá starost se zbytkovým odpadem (popelcem v případě spaloven). Jediný vedlejším produktem, který zůstává, je už zmiňovaný verifikát, kde jsou ale nebezpečné látky velmi dobře vázány přímo v krystalické mřížce, což bylo potvrzeno pomocí testů. Nevýhodou v dnešní době je hledisko ekonomické, i když už jsou dnes dostupné technologie, kdy by mělo být splňování odpadu finančně rentabilní, stále je levnější spálení odpadu ve spalovně. [9]

7. Využití zplyňování v České republice

7.1. Historie zplyňování v ČR

Historie počátků zplyňování se na našem území datuje k roku 1847, kdy byla v Karlíně v Praze zprovozněna první plynárna, která vyráběla svítiplyn pomocí karbonizace černého uhlí. Ten se následně využíval pro svícení v lampách veřejného osvětlení. V následujících letech došlo k vylepšení technologií a svítiplyn se vyráběl tlakovým zplyňováním hnědého uhlí. Svítiplyn se následně vyráběl v Československu až do roku 1978 [10].

K dalšímu rozvoji dochází už během první světové války, kdy se objevila první vozidla na dřevoplyn, k velkému rozvoji však tehdy ještě nedošlo. To nastalo až během druhé světové války, kdy byl velký nedostatek ropy a tento způsob pohonu umožňoval provoz automobilů i přes nedostatek suroviny. Musíme si ale uvědomit, že oproti klasickému spalovacímu motoru má řadu nevýhod. Výkony, které jsme schopni z motoru dostat, jsou menší, dochází k zanášení jednotlivých dílů, před nastartováním se muselo čekat, vůz musel být vybaven velkým kotlem na dřevo a našla by se celá řada dalších věcí. Jedinou velkou výhodou byla schopnost provozu bez ropy a za velmi příznivé ceny. Po válce tato vozidla postupně mizí, zanikají [11].



Obr. 7.1 Škoda 256 s úpravou na dřevoplyn [11].

Mnohem většího významu ohledně zplyňování se dostalo chemické továrně na výrobu paliv, ale i dalších produktů, v Záluží, dnes součást Litvínova, kde během druhé světové války došlo k výrobě motorových paliv z hnědého uhlí. Stavba zařízení začala v květnu roku 1939, aby v prosinci roku 1942 vyrobila první benzín. Nepodařilo se však až do roku 1944 vyrábět požadované množství paliva, další pokusy o zvětšení výroby znemožnilo spojenecké bombardování. První se uskutečnilo 12. května roku 1944, přičemž v následujícím roce bylo několikrát zopakováno, poslední se uskutečnilo 5. března roku 1945, kdy byla továrna ze 70 % zničena a výroba zastavena. Celkem bylo provedeno 16 náletů, ale ne všechny se daly považovat za úspěšné. K obnovení výroby došlo až po skončení války, kdy nejdříve musela být celá továrna opravena a začátkem června začala znova vyrábět benzín [12].

Samotný popis výroby paliva z hnědého uhlí je poměrně náročný, zahrnující v sobě spousty postupů, proto je zde uveden pouze zjednodušený proces samotného zplyňování. K tomu docházelo v karbonizačních pecích typu Lurgi. Tam probíhalo vysušení a odplynění tříděného uhlí na dehtové a olejové frakce, fenolové vody, benzínu, karbonizačního plynu, polokoksů. Kapalně produkty byly následně odděleny v odlučovacích a kondenzačních zařízeních, kde došlo k jejich dalšímu rozdělení na lehký a těžký dehet, střední olej atd. Kromě fenolové vody, ta se upravovala na fenolické výrobky, se všechny ostatní kapalně fáze upravovaly na motorová paliva. Karbonizační plyn se používal k topení, polokoks byl zpracováván v koksovně [12].

Na konci 50. a začátkem 60. let byly pokusy na zlepšení technologií, zmínit můžeme protiproudý systém zplyňování na jedné z pecích, nakonec však žádná z technologií nepostoupila dál než do experimentálního provozu a vývoj byl v roce 1964 definitivně ukončen. Výroba paliv z uhlí pokračovala až do roku 1972, ale už od roku 1956 zde docházelo ke zpracování ropy, na kterou se později podnik zaměřil [12].

Ze současnosti byly vybrány ty nejdůležitější podniky, které se na našem území nacházejí i s konkrétním popisem jejich činnosti a technologií.

7.2. TARPO

Společnost TARPO spol. s r. o. se od roku 2006 věnuje zplyňování biomasy a následné výrobě elektřiny. První pokusy spočívaly ve využití modifikovaného souproutého reaktoru, který spotřebovával kusové dřevo, a vyráběl plyn s nízkým obsahem dehtu pro upravený spalovací motor. Spaliny z motoru byly následně využity pro sušení dalšího dřeva. V následujících letech docházelo k vylepšování již zmíněného systému, kdy došlo k navýšení výkonu a účinnosti u reaktoru. Vylepšení spočívala ve zlepšení přívodu vzduchu, zmenšení částic paliva, čištění a úpravy plynu, konstrukční vylepšení roštu a dalších věcí. Mezi největší úspěch v počátcích firmy můžeme považovat vysokoteplotní filtraci TZL u souproutého reaktoru. Filtrace byla umístěna na keramických rukávcových filtrech, které pracují až do teplot 550°C a fyzikálního absorbéru pro odstranění dehtu, který využíval organický olej. Nasycený olej se na rozdíl od jiných látek nespaloval, ale regeneroval [13].

V roce 2010 společnost zahájila vlastní vývoj konceptu vícestupňového zplyňování biomasy. Výhoda spočívala v oddělení pyrolýzy, oxidace a redukce uhlíkatého zbytku v jednotlivých částech reaktoru, což umožňuje změnit prchavé hořlaviny, hlavní část dehtu, na směs plynu a snížit tím riziko tvorby dehtu při samotném zplyňování. I když TARPO nebylo první, kdo takto začal vyrábět plyn, tak na rozdíl oproti předešlým pokusům jiných firem použil reaktor vlastní konstrukce, který byl jednodušší, tím pádem i levnější na provoz i nákup. V roce 2011 byl vyzkoušen první prototyp dvoustupňového reaktoru GP200 (výkon 200 kW_e). Reaktor měl originální konstrukci, kdy prchavá hořlavina se uvolnila v pyrolýzní části a následně byla spálena v parciálně oxidační části. Výsledkem byly tři zdroje tepla, které se následně využívaly při samotné pyrolýze. Zdroje byly v podobě spálení prchavých látek, spáleného paliva a tepla, které bylo v samotném generovaném plynu. Plyn se nadále spaloval ve spalovacím motoru a teplo z něj se stále používalo pro sušení paliva. Celková účinnost elektrárny dosáhla 27 % [13].

V roce 2011 došlo k prvnímu komerčnímu využití u společnosti AIR TECHNIC s r. o., která využívala reaktor G500 (výkon 500 kW_e), což byla zvětšenina původního reaktoru G200. Elektrárna zahájila provoz v roce 2014 a funguje dodnes. TARPO následně přišlo s ještě výkonnějším reaktorem G750 (výkon 750 kW_e), kdy bylo postaveno osm kusů, z nichž pět našlo uplatnění v elektrárně v Kozomíně, dva v Haldové, jeden v Dobříši [13,14].

7.3. Elektrárna v Kozomíně

Tato elektrárna leží v blízkosti Kralup nad Vltavou a byla uvedena do provozu v roce 2016. Jako zdroj paliva slouží biomasa v podobě dřevní štěpky. Reaktor je od již zmíněné české společnosti TARPO spol. s r.o. Samotná elektrárna dokáže vyrobit 10 000 MWh měsíčně, což by mělo pokrývat spotřebu 3 000 domácností. Velká výhoda spočívá ve výrobě bez kouře, prachu a sazí. Energetická účinnost se pohybuje okolo 36 %. Původní plány provozovatelů počítaly nejenom s elektrárnou, ale i s přidruženou výrobnou tissue papíru (papírové kapesníky, toaletní papír atd.) z recyklátu. K tomu však zatím nedošlo, navíc se objevily ekonomické problémy, které vyústily až v insolenci. Poslední zprávy, které se mi podařilo dohledat byly z května 2019, kdy elektrárnu koupil v dražbě nový vlastník. Bohužel žádné novější informace, zda je elektrárna v provozu či nikoliv, se mi nepodařilo zjistit [15,16].

7.4. Elektrárna Vřesová

Paroplynová elektrárna Vřesová leží na Karlovarsku a zabývá se výrobou elektřiny z hnědého uhlí, to nejen klasickou cestou spálením, ale využívá i metodu zplyňování, v poslední době navíc dochází i ke zplyňování kalů z Ostravska. Toto zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 1996 a patří Sokolovské uhelné [17].

Při běžném provozu je využito uhlí, které se těží v nedalekých lomech. Natěžené uhlí se nadrtí, předsouší, roztrídí na hrubou a jemnou část. Jemná část se používá v klasické elektrárně, kde se spálí, hrubá složka je určena ke zplyňování. K tomu slouží reaktor typu Lurgi (tlakový reaktor s pohyblivým ložem), kde dochází při tlaku 2,7 MPa a 1000 °C k samotnému zplyňování. Jako zplyňovací medium se používá vodní pára a kyslík. Vzniklý plyn se před samotným použitím musí ještě vyčistit, kdy nejdříve dojde pomocí selektivní vypírky Rectizol k odstranění nečistot jako jsou benzeny, sirovodíky a zbytky popelovin. Poté následuje odsíření založené na termickém spalování sirovodíkových plynů na oxid sírový a následném zkapalnění na kyselinu sírovou ve skleněném reaktoru. Ročně se tak vyrobí 15 000 tun kyseliny sírové, která může nalézt uplatnění v jiných oborech. Výsledný plyn se nazývá energoplynem a je spalován ve dvou blocích, každý o výkonu 200 MW, kdy každý je vybaven plynovou a parní turbínou. Energoplyn je spalován spolu se zemním plynem, který slouží jako doplňkové nebo záložní palivo, ve spalovací komoře. Vzniklé spaliny o teplotě 1100 °C pohánějí generátor v plynové turbíně a po jejím opuštění stále mají teplotu 540 °C. Toto odpadní teplo se následně ještě využívá pro ohřev v kotli, který vyrábí páru pro parní turbínu s vlastním generátorem. Zbytkové teplo je ještě jednou využito pro ohřev vody pro vytápění pro domácnosti. Tato část elektrárny má stálé spojení s klasickou elektrárnou, aby byl provoz co nejspolehlivější a zároveň pružný. Výsledná energetická účinnost elektrárny se pohybuje okolo 45 %. [17]



Obr. 7.2 Elektrárna Vřesová [18].

Od roku 2018 dochází v elektrárně k likvidaci nebezpečných ropných kalů, které se dají zplyňovat společně s uhlím. Kaly jsou dopravovány pomocí hermeticky uzavřených kontejnerů, aby se zamezilo kontaktu s okolním světem. V elektrárně nedochází k jeho skladování, aby se minimalizovala rizika a ihned dochází k jeho likvidaci. Kaly jsou přidávány k uhlí ke zplyňování, následně dojde k jejich spálení ve spalovací komoře. Celkové množství v sázce nemůže překročit více jak 4 % z celkového objemu. Výsledná škvára, která může vznikat, nachází nadále využití jako stavební materiál [18,19].

7.5. D.S.K.

Společnost D.S.K. spol. s r.o. zabývající se strojírenskou výrobou vznikla v roce 1991 [20]. Na základě projektu Ministerstva průmyslu a obchodu došlo v roce 2009 k zahájení výzkumu nového zplyňovacího reaktoru. Dotaci získala právě tato firma, která s pomocí Fakulty životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Vysoké školy chemicko-technologické v Praze a dalších odborníků vyvinula nový souproudý reaktor. Paliva (biomasa) byla do reaktoru dopravována ze spodu pomocí dvou šneků, jež byly na sebe kolmé, kdy druhý vertikální šnek zasahoval až do reakčního zóny. Samotné procesy při zplyňování byly stejné jako u klasického reaktoru (sušení, oxidace, redukce, pyrolýza). Výsledný plyn měl výhřevnost 4-5 MJ/Nm³ a hodil se pro spalování ve speciálním plynovém motoru. Už v té době existovaly technologie vyspělejší, jež se už experimentálně provozovaly, ale byly také mnohem dražší. Hlavní výhodou měl být poměr mezi investičními náklady a instalovaným výkonem, dalším kladem měla být bilance CO₂, která byla neutrální, to však platí i pro ostatní technologie zplyňující biomasu [21].

Společnost D.S.K. nevyrobila pouze reaktor, ale přišla i s vlastním přístupem čištění vyrobeného plynu. Používala se kombinace suchého a mokrého čištění. Při suchém čištění došlo k odstranění tuhých nezreagovaných částic a prachu do velikosti větších jak 2μm. K tomuto účelu sloužily cyklóny. Poté následovalo mokré čištění. Nejdříve se odstranil dehet a zbývající tuhé uhlíkaté částice pomocí organického rozpouštědla. Následné dočištění proběhlo ve vodní pračce, kde se plyn zbavil anorganických nečistot. Samotný plynový motor byl vybaven ještě multicyklony pro dočištění [21]. Všechny informace, které si podařilo najít, jsou už staršího data, proto se nedá říci, zda zařízení funguje ještě dnes, nebo v jaké fázi se projekt nachází.

7.6. Dekonta

Tato společnost s celým názvem Dekonta a.s. byla založená v roce 1992 a specializuje se na čištění kontaminovaných zemí, dekontaminaci a ochranu životního prostředí, zpracování nebezpečného odpadu. Tyto služby poskytuje do současnosti. V roce 2013 až 2014 postavila

zařízení využívající hydrotermální konverzi, anglicky SCWG (Super Critical Water Gasification). Technologie funguje na konverzi organických látek na plynné produkty obsahující velké množství metanu a vodíky, to vše probíhá za nadkritických podmínek ve vodní suspenzi. Oproti klasickému zplyňování má výhodu, že zde nevádí zvýšená vlhkost v palivu, přesněji řečeno, nemá na proces zásadní vliv, protože děj probíhá ve vodním prostředí, tak se zde neprojevují problémy s tím spojené, jako snížená energetická účinnost, případně tvorba dehtu. Voda při SCWG slouží jako rozpouštědlo i reakční medium. Termokonverzní reakce probíhají v homogenní fázi, díky čemuž odpadá problém heterogenní reakce mezi tuhou a plynnou fází, to se příznivě projevuje na snížení produkce dehtu [22].

Je potřeba si uvědomit, že voda v nadkritickém stavu se chová výrazně odlišně, než jsme zvyklí. Kritický stav u vody nastává při tlaku 22MPa a 374°C. Voda se stává nepolárním rozpouštědlem, což jí umožňuje rozpouštět organické látky, zase ale ztrácí schopnost rozpouštět iontové sloučeniny, soli, což za běžných podmínek umí. Samotné zplyňování potom probíhá mezi 400 až 550°C. Díky tomu, že voda je rozpouštědlem a reakčním činidlem současně, se dají zplyňovat i materiály s nízkým obsahem hořlaviny (jednotky až desítky procent). Hlavní výhodou je čistota vyrobeného plynu, který se nemusí před použitím znova čistit, možnost oddělit jednotlivé složky plynu vlivem rozdílné rozpustnosti ve vodě v závislosti na tlaku a teplotě, možnost zpracovávat zdravotně závadný či toxický odpad. [22].

7.7. Temex

Jedná se o společnost, která byla založena v roce 1991, jejíž zaměření je poměrně široké. Zabývá se automatizací, dopravními systémy, vzduchotechnikou, výrobou strojů na zakázku, potřebami pro golf a dalšími věcmi. Během své existence se zapojila též do výzkumu technologií pro zplyňování biomasy. Celé zařízení se skládalo nejenom z reaktoru, ale i následné kogenerační jednotky, kde se vyrobený plyn spaloval. Jako biomasa se používala sláma, nebo dřevní hmota, následně se měřila získaná energie nejen v závislosti na typu paliva, ale i obsahu vody v něm [23,24]. Společnost Temex úzce spolupracovala s Technickou univerzitou Ostrava, pod které spadá Výzkumné energetické centrum. To mělo k dispozici právě tento reaktor [25].

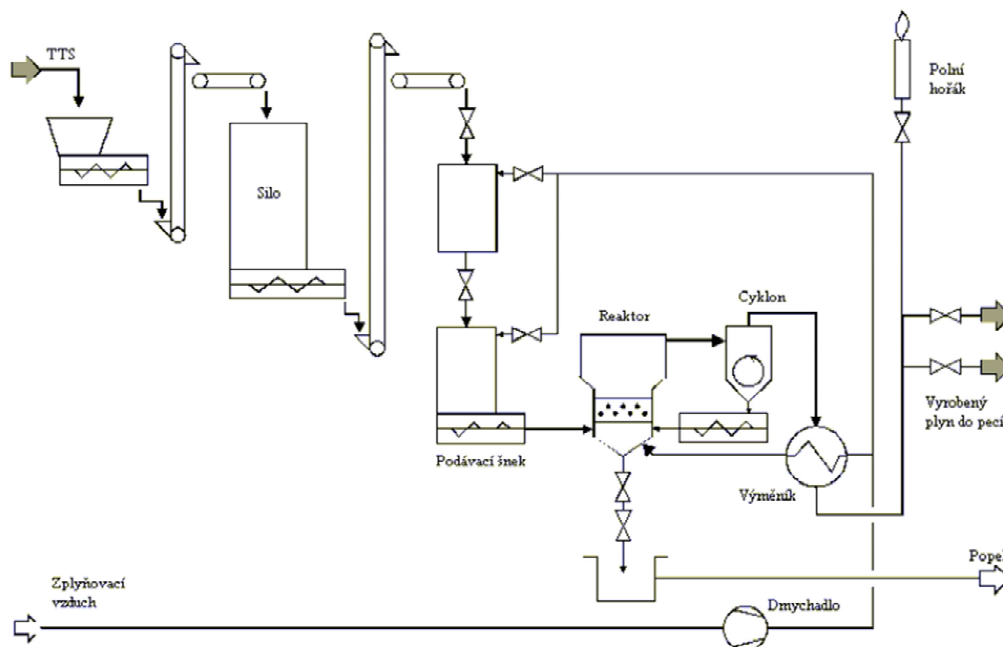
7.8. Ateko (Vápenka Prachovice)

Další společností v České republice, jež se zajímala o zplyňovací technologie, byla firma Ateko a.s. z Hradce Králové. Oficiálně byla společnost založená v roce 1994, ale ta už navazovala na existující firmu fungující už od roku 1949. Zaměření společnosti je poměrně široké, zahrnuje technologie na úpravu plynů, aparáty na potrubí (např. filtry, výměníky tepla), projektování a realizaci staveb, technologické celky a další. Během existence se firma dostala i ke zplyňovacím technologiím u společnosti Vápenka Prachovice [26].

Projekt započal v roce 1999, kdy vzešel nápad použít tuhou topnou směs (TTS) z odpadu jako palivo pro otop ve vápence. Samotný odpad nešel použít jako palivo přímo, protože by se snižovala kvalita vápna. Odpad se nejdříve převáděl na energoplyn, který byl následně použit jako palivo do pece místo zemního plynu. Samotný projekt se rozvíjel ve dvou liniích. V první linii bylo postaveno experimentální zplyňovací zařízení na biomasu na VUT FSI v Brně, ale po úpravách mohlo sloužit jako palivo i tuhá topná směs. Zde probíhaly různé experimenty, které měly za úkol získat poznatky pro budoucí provoz. Ve druhé linii probíhala výroba samotného zařízení v Prachovicích s třicetkrát větším výkonem než v Brně [27].

V praxi zařízení fungovalo následovně. Nákladní automobily přivážely tuhou topnou směs do násypky, odkud pomocí dopravníků byl materiál přesunut do sila, které představovalo dvacetičtyř hodinovou zásobu paliva. Z něho vedl další dopravník do menšího horního zásobníku vybaveného plynotěsnými šoupátky a dolního zásobníku. Oba slouží na dopravu paliva přímo do reaktoru. Probíhalo zde fluidní zplyňování ve stacionární loži, přičemž samotná reakce probíhala při teplotě 800°C. Vyrobený plyn byl odprašován v cyklónu a odstraněn

polokoks byl vrácen zpět do reaktoru. Výstupní plyn ohříval vzduch, který sloužil jako zplyňovací medium na 500°C, sám byl přitom zchlazen na 600°C, následně došlo ke spálení v hořácích šachtových vápenek. Přebytný plyn se spálil na polním hořáku. Tepelný výkon zařízení byl 2,6 MW. Během provozu docházelo k různým vylepšením, která měla zvýšit efektivitu, ale po změně vlastníka došlo k ukončení projektu [27].



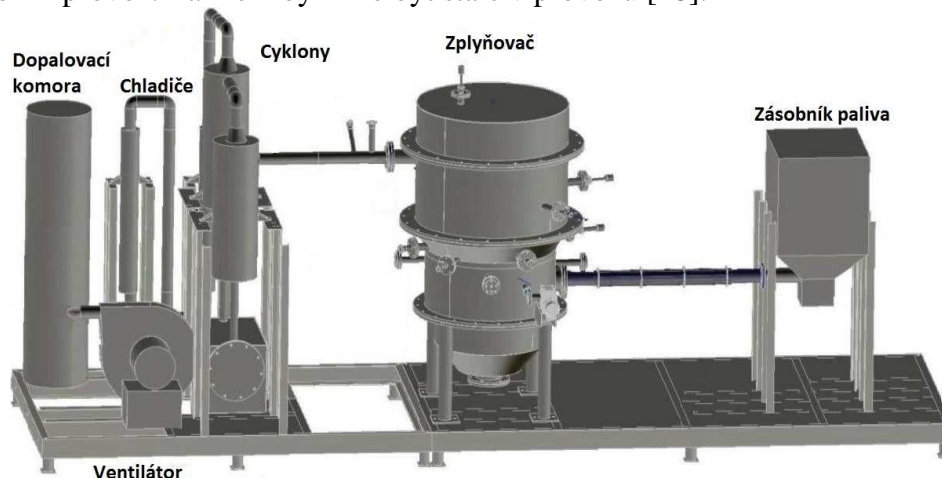
Obr. 7.3 Schéma demonstračního zařízení v Prachovicích [27].

7.9. Výzkumné energetické centrum na Vysoké škole báňské (Technická univerzita Ostrava)

Počátky zplyňování na tomto ústavu se datují do roku 2006 a jsou úzce spjaty se společností Temex, která prováděla výstavbu prvního zařízení. Technologie se skládala z několika celků. První částí byl zásobník paliva, z kterého vedl dopravník v podobě vodorovného šneku, jenž přesouval palivo do reaktoru. Autotermní reaktor s pevným ložem měl maximální tepelný výkon 100 kW. Vyrobený plyn proudil do dvou cyklónů, kde se oddělovaly tuhé znečišťující látky, poté následoval chladič pro zchlazení, aby bylo možné nadále s plynem pracovat. Následoval ventilátor pro zajištění podtlaku pro nasávání vzduchu (zplyňovacího media) do reaktoru. Poslední částí byla dopalovací komora, kde se plyn spaloval. Jako palivo se většinou používala dřevní štěpka [28].

Toto zařízení nesloužilo vyloženě ke komerčním účelům, ale bylo postaveno za účelem výzkumu, proto během let docházelo k menším, či větším úpravám. Už v roce 2008 došlo k výměně původního šnekového dopravníku za dva nové, kdy první dopravoval palivo do spodní části reaktoru, kde na něj navozoval kolmo druhý, který zajišťoval přísun paliva nad rošt. Velké změny probíhaly i u způsobu čištění plynu, to navíc několikrát. První přestavba spočívala v odstranění jednoho cyklónu a nahrazení dolomitovým reaktorem. Ten byl schopen velice účinně odstraňovat dehet. Pozdější změnou bylo nahrazení zbývajících cyklónů a dolomitového reaktoru vysokoteplotním odlučovačem. Ten byl vhodný pro odfiltrování tuhých znečišťujících látek. Změn se dočkal i samotný reaktor, kdy roku 2016 došlo k dalšímu přestavbě jeho spodní části a výstavbě nové vyzdívky a byl osazen novým otočným roštem, což by mělo zajistit lepší propadávání spékající se popeloviny [28].

Hlavním cílem tohoto zařízení je výzkum a vyzkoušení nových technologií. Díky své velikosti umožňuje dělat dostatečné množství experimentů, zároveň má přijatelnou spotřebu paliva a stabilní provoz. Zařízení by mělo být stále v provozu [28].



Obr. 7.4 Schéma zplyňovací technologie v roce 2006 [28].

7.10. Vysoké učení technické v Brně (Fakulta strojního inženýrství)

V roce 1999 společnost Ateko postavila experimentální jednotku fluidního zplyňování biomasy [29]. Název tohoto zařízení je Stend Bifluid 100. V roce 2000 došlo k úpravám, po kterých mohlo začít zpracovávat i tuhou topnou směs (TTS) a posloužilo při vývoji pro zplyňování ve Vápence Prachovice. Testovala se zde charakteristika procesu, složení a výhřevnost plynu, jeho znečištění, složení a obsah dehtu, materiálová bilance, tepelná bilance, další údaje. Reaktor od té doby slouží i jiným experimentům [27,30].

Samotná technologie umožňuje provoz ve zplyňovacím, nebo spalovacím režimu, zároveň se dvěma režimy zplyňování. Reaktor disponuje výkonem 100 kW a příkonem 150 kW (v palivu). Výhřevnost produkovaného plynu se pohybuje mezi 4 až 7 MJ/Nm³. V roce 2004 bylo zařízení vybaveno poloprovozním horkým katalytickým filtrem s kontinuálním provozem [27,30].



Obr. 7.5 Stend Bifluid 100 [30].

Technologie funguje následovně. Palivo je uloženo v zásobníku, odkud se pomocí hradla přesune na šnekový dopravník s frekvenčním měničem. Ten přesune palivo do reaktoru. Jako zplyňovací medium se využívá vzduch. Primární vzduch je nasáván dmychadlem a vháněn přes vějířový rošt. Sekundární a terciální vzduch vstupují do reaktoru vstupem po jeho výšce. Vyrobený plyn se v cyklónu zbaví tuhých látek, ty jsou vráceny nad rošt reaktoru. Popel se zachytává v zásobní nádobě. Vyrobený plyn se buď mísí se zemním plynem a následně se spálí v hořáku, nebo se vyrobený plyn pustí přes horký katalytický filtr, teprve potom se spálí. Od svého vzniku prošlo zařízení celou řadou úprav a rozšíření [30].

7.11. AIR TECHNIC

Firma AIR TECHNIC s.r.o. funguje na našem trhu už od roku 1991. Ze začátku své existence se zajímala hlavně o vzduchotechniku, klimatizace, větrání, odprašování atd. Až v roce 2007 se společnost začala zajímat o zplyňování biomasy. Z těchto důvodů navázala v roce 2009 spolupráci se společností TARPO a podílela se na výzkumu a výstavbě elektrárny v Kozomíně. AIR TECHNIC se zabývala dopravou a sušením biomasy. V roce 2014 došlo k ukončení spolupráce a společnost vyvinula vlastní souprůdý reaktor pro zplyňování biomasy. Jeho hlavní výhodou by měl být nízký obsah dehtu ve vyrobeném plynu, díky čemuž by měl být vhodný pro spalovací motory. Nepodařilo se mi ale najít informace, že by byl už reaktor někde v provozu [31,32].

7.11.1. Millenium technologies

V roce 2011 byl v Dubé u České Lípy založen Vědecko-technický park Dubá, kde je prováděn výzkum ohledně plazmového zplyňování, výroby a využití syntézního plynu. Zařízení spolupracuje s vysokými školami i s komerčními podniky za účelem rozvoje inovací a uvádění jejich poznatků do praxe. Toto zařízení je unikátní z hlediska České republiky, tak i z pohledu Evropské unie. Zajímavostí je, že VTP Dubá je schválena v chráněné krajinné oblasti, což dokazuje šetrnost využití plazmového zplyňování na životní prostředí [33].

7.11.2. Jednotlivé fáze zpracování

První fází, která se musí provést před samotným zplyňováním, je příjem paliva (odpadu) a jeho příprava. Odpad se nejdříve musí rozdrtit a homogenizovat v pomaloběžném drtiči. Následně dohází k třídění vzniklé směsi, kdy je snaha odstranit materiály, které mají nízkou, nebo nulovou energetickou hodnotu a způsobovaly by nižší účinnost. V horším případě by samotnou energii samy spotřebovávaly, kdyby docházelo k jejich převodu na anorganický zbytek v podobě tekuté strusky. Mezi látky, které se snažíme dostat ze směsi pryč, řadíme popel, suť, sklo, kov a další. První dochází v separátoru kovů k oddělení železných částí. Poté následuje bubnové síto pro odstranění sutí a kamenů. Poslední částí na lince je balistický separátor, jenž odfiltruje zbytkový anorganický podíl. Výsledná vytríděná směs je znova pomleta v drtiči na ještě jemnější částice a následně přesunuta do sušící linky [34].

Po vysušení se palivo začne přidávat do plazmového reaktoru, v němž se ve spodní části nachází plazmatrony (generátory plazmy), které způsobují pyrolýzu, přeměňují palivo na anorganickou strusku a syntézní plyn. Struska vytéká z reaktoru do vodní lázně, kde dojde k jejímu ochlazení a vzniku vetrifikátu (ten už byl zmíněn u plazmového zplyňování). Co se samotného zplyňování týká, tak probíhá při teplotě 5000°C, díky čemuž procesy probíhají nezávisle na kinematických reakcích. Navíc kvůli vysoké hustotě energie (100MW/m³), kterou dodávají plazmatrony, má výsledný plyn dvakrát až desetkrát větší energii, než by měl při klasickém spalování [34].

Výsledný syntézní plyn opouští reaktor s teplotou přibližně 1250°C, což znemožňuje jeho okamžité zpracování. Plyn se musí zchladit na teplotu 250°C, kdy už je možné čištění pro budoucí účely. Energie získaná při chlazení je využita pro výrobu vysokotlaké páry. Samotné čištění plynu je závislé na budoucím využití plynu, stejně jako je tomu v případě

při zplyňování biomasy. Je zde snaha odstranit znečišťující látky v podobě síry, vlhkosti, případně pevných částic, které v plynu zůstaly. Obvykle nám vadí velká vlhkost [34].



Obr. 7.6 Zplyňovací zařízení [33].

7.11.3. Využití plynu

Celkové využití syntézního plynu je velmi různorodé. Stejně jako u zplyňování biomasy se dá využít jako palivo nebo surovina pro budoucí využití, ale primárně se vzniklý plyn používá pro čtyři účely. Nejjednodušší využití je spalení vzniklého plynu ve spalovací komoře, kde dochází k výrobě páry. Ta je přidána k páře vzniklé už při chlazení a následně je využita pro výrobu elektrické energie v parní turbíně. Další možností je využití syntézního plynu v kogenerační jednotce, pro výrobu elektřiny a tepla. Princip spočívá v tom, že při výrobě elektrické energie vzniká velké množství tepla (například spalováním), které většinou nebývá využito. V praxi to funguje tak, že vzniklý plyn se spaluje ve spalovací komoře, kdy vznikají spaliny, které jsou použity pro ohřívání vodní páry, která se spojuje s párou vzniklou při samotném chlazení plynu. Ta se potom používá buď na topení, nebo v parní turbíně pro výrobu další elektrické energie. Syntézní plyn se taktéž dá použít jako produkt, z kterého lze vyrábět vodík pro nové účely. Poslední možností, jak používáme vzniklý plyn použít, je upravit ho na určitý poměr CO:H_2 , kdy je vhodný na výrobu syntetických motorových paliv pomocí Fischer-Tropschovy syntézy. Ta probíhá za určitých teplot, tlaků a katalyzátorů, kdy se směs uhlovodíků v plynu zpracovává a zušlechťuje standardními rafinérskými postupy na jednotlivé produkty jako je benzín, nafta, vosk atd. Při samotné výrobě opět vzniká teplo, které můžeme využít pro jiné účely [34].

Poslední výhodou zplyňování, které využívají ve VTP Dubá, je zpracování i nebezpečného odpadu, nemocničního odpadu a likvidace kalů z čistíren odpadních vod. Tento materiál se nedá normálně skládkovat, proto musí být co nejšetněji zlikvidován. Vzhledem k tomu, že zplyňování probíhá při 5000°C , tak je reaktor celkem jedno, jaký materiál se použije. Nevýhodou může být horší kvalita vzniklého plynu. Samotný reaktor samozřejmě může spotřebovávat i klasický, komunální a průmyslový odpad [34].

Jelikož se jedná o vědecko-technický park, je zaměření tohoto střediska poměrně široké a přímo zde neslouží ke komerčním účelům, ale technologie, které zde byly vyzkoušeny, nachází využití v praxi. Plazmovým zplyňováním se navíc zabývají už od roku 2003 [34].

7.12. Další zařízení v České republice

Vyjmenované firmy nejsou jediné, které se zplyňování na našem území věnují. Dalšími firmami jsou například BOSS engineering, nebo Safina. Dostupné informace o technologiích a využití však nejsou veřejně v aktuální a dostatečné míře dostupné, proto nebyly popsány podrobně [35,36].

8. Zplyňovací technologie v zahraničí

8.1. REPOTEC

Tato rakouská společnost byla založena v roce 2001 a specializuje se na výstavbu zařízení využívající dvojité fluidní lože spojené do dvou systémů. V prvním z nich dochází ke zplyňování samotné biomasy při teplotě 850°C. Oproti jiným zařízením zde slouží jako zplyňovací medium pára, což se pozitivně projevuje na nízkém obsahu dusíku a dehtu ve vyrobeném plynu, zároveň si udržuje vysokou výhřevnost. V druhém systému se zbývající palivo, které se netransformuje na plyn, spálí a poskytuje potřebnou energii pro endotermické reakce. Výsledný plyn se dá použít pro více účelů, většinou slouží jako zdroj paliva pro výrobu elektrické energie v zařízení používající ORC (Organic Rankine cycle) technologii. Hlavní výhoda spočívá ve využití odpadního tepla při provozu a chlazení plynu. REPOTEC se snaží najít i další využití pro vyrobený plyn. Výkony jednotlivých zařízení se liší. Nejvýkonnější elektrárna, kterou jsem našel, je v Sendenu, disponuje elektrickým výkonem 5 MW_e a tepelným výkonem 6,5 MW_t. Už teď jsou ale i další projekty, které by měly toto zařízení překonat a dosáhnout výkonu až 12 MW_t. V roce 2013 byl spuštěn projekt GoBiGas, jehož cílem je nahrazení přírodního, ten se jmenuje SNG (Synthetic natural gas), nebo použít plyn pro výrobu paliva za přispění Fischer-Tropschovy syntézy [37,38].

Společnost dodnes postavila několik zařízení po světě, prvních z nich byla elektrárna v Güssingu v Rakousku už v roce 2001. Další zařízení jsou v provozu v Sedenu, Göthenburgu ve Švedsku, Wajima v Japonsku a na dalších místech ve světě [38].



Obr. 8.1 Zplyňovací zařízení v Güssingu [38].

8.2. Westinghouse Plasma Corporation

Tato americká společnost se zabývá plazmovým zplyňováním odpadu, které by mělo nahradit skládkování, případně spalování. Oproti spalování jsou zde nižší emise, které se pouští do ovzduší. Navíc je plazma schopna likvidovat látky, jež nejsme schopni klasickým spálením

zničit, to díky teplotě 3000°C. Verifikovaná struska, jediný vzniklý odpad, je navíc velmi stabilní a nebezpečné látky jsou v něm dobře vázány. V Japonsku se proto používá ve stavebnictví na betonové výrobky. Sama společnost nabízí reaktory v různých velikostech s možností zpracovávat od 100 až do 750 tun odpadu za den. Vyrobený plyn je určen pro výrobu tepla a elektrické energie. Dnes jsou tato zařízení v provozu v Japonsku, Číně, Indii a Velké Británii [39,50-54].

8.3. Valmet

Tato finská společnost se zabývá několika odvětvími, mezi hlavní patří v dnešní době automatizace, papírenský a energetický průmysl. Oficiálně tato společnost vznikla až v roce 2013, ale ta už vycházela z dřívějších firem. Na oficiálních stránkách nalezneme, že Valmet považuje za rok svého založení 1797, tehdy ještě s jiným názvem. Během více 200leté historie byly do společnosti začleňovány další firmy, proto její zaměření bylo neuvěřitelně široké, našli bychom zde textilní průmysl, metalurgický průmysl, strojírenský průmysl (výroba traktorů, lodí, zbraní, výtahů atd.), papírenský průmysl a další. Samotný název Valmet se začal používat od roku 1951 [40,41].

V oblasti energetického průmyslu se společnost věnuje reaktorům s cirkulující fluidní vrstvou (CFB). Samotná technologie se dá použít pro dva způsoby, první spočívá v použití paliva v podobě biomasy, což by měl být ekologický zdroj energie, druhá možnost je použít zařízení na zpracování odpadu. V současnosti jsou v provozu obě tyto varianty [42].

Zástupcem první skupiny je elektrárna u města Vaasa. Společnost Valmet tvrdí, že by se mělo jednat o největší zařízení pro zplyňování biomasy na světě. Původně uhelná elektrárna prošla v roce 2012 přestavbou, kdy byla vybavena novými technologiemi pro využití biomasy. Zároveň byla snaha, co nejvíce zařízení zachovat, aby nedošlo k razantnímu nárůstu nákladů, proto původní zařízení na spalování uhlí bylo zachováno. Elektrárna využívá jako zdroj paliva kombinaci uhlí a biomasy, kdy biomasy dokáží nahradit 40% uhlí. Zařízení disponuje výkonem 230 MW elektrické energie a 170 MW tepelné energie [42,43].



Obr. 8.2 Elektrárna Vaasa [43].

Zástupcem druhé kategorie je elektrárna u města Lahti, kde dochází ke zplyňování odpadu. Jako palivo je používána kombinace průmyslového, stavebního a domácího odpadu. Ten je rozdrcen, roztríděn, vysušen a zplyněn. Výsledný plyn se před spálením čistí, aby se zabránilo znečištění a korozi zařízení. Elektrárna spotřebuje 250 000 tun odpadu ročně, čímž ušetří 170 000 tun uhlí. Její výkon je 50 MW elektřiny a 90 MW tepla [42,44].



Obr. 8.3 Elektrárna Lahti [44].

Další zařízení jsou v provozu dalších městech Finska, ve Švédsku v Githenburgu (GoBiGas), v Indonésii, v Číně [42].

8.4. Burkhardt

Jedná se o rodinnou společnost z Německa s dlouhou historií, její založení se datuje do roku 1879, kdy je první zmínka o kovárně v Mühlhausenu v Bavorsku. Během následujících let došlo k rozšíření firmy o další pobočky. Od doby svého vzniku tak můžeme najít několik oblastí, v kterých se angažovali, například sanitární, ventilační a vodovodní systémy, výroba ocelových konstrukcí. Klíčový je rok 2005, kdy dochází ke vstupu do energetického sektoru a v nabídce firmy se objevují kogenerační a zplyňovací jednotky [45,46].

Dnes nalezneme v nabídce společnosti dvě zplyňovací jednotky, které slouží ke zplyňování dřeva, konkrétně dřevěných palet. Oproti zařízením, které se používaly dříve, využívající reaktory s pevným ložem a přísunem paliva z vrchu, zde dochází ke zplyňování v reaktoru s fluidním ložem a přísun paliva je ze spodu, jako zplyňovací medium je využíván vzduch. Díky patentované konstrukci je reaktor schopen převést téměř všechno dřevo na syntézní plyn, pouze minerální zbytky jsou odváděny ve formě popelu pryč. Výsledný plyn obsahuje nízké koncentrace dehtu, proto se používá ve spalovacím motoru pro výrobu tepla a elektřiny. Celkový výkon zařízení je závislý na zvolené kogenerační jednotce. Sám Burkhardt nabízí k prvnímu zplyňovacímu zařízení V3.90 na výběr dvě možnosti. První nabízí tepelný výkon 260 kW a tepelný 165 kW, nebo druhou variantu o tepelném výkon 270 kW a elektrickém 180 kW. Druhé zplyňovací zařízení V4.50 je nabízeno s jednotkou o tepelném výkonu 110 kW a elektrickém 50 kW [47,48].



Obr. 8.4 Zplyňovací zařízení V3.90 [47].

8.5. Energos

Společnost Energos se zaměřuje na zplyňování, likvidaci zbytkového komunálního, případně průmyslového odpadu, to při velmi nízkých emisích, hlavně NO_x a dioxinů. Samotné zplyňování probíhá na horizontálním pohyblivém roštu za teploty 900°C při nízkém obsahu kyslíku. Vyrobený plyn následně prochází oxidační komorou, odprášením a následně je spálen v kotli na výrobu tepla, které se dá využít pro výrobu elektřiny. Spaliny z kotle jsou rychle schlazeny pod teplotu, kdy vznikají dioxiny, a následně v tkaninovém odlučovači za přispění přísadky mletého vápence a aktivního uhlí zbaveny další škodlivin. Dnes najdeme tato zařízení v několika státech, například v Norsku, Německu a Velké Británii [49].

8.6. Další zařízení v zahraničí

Dají se nalézt i další zařízení a společnosti, které se této technologii věnovaly. O některých z nich však chybí informace, jaké technologie používaly, nebo nalezené informace jsou staršího data a proto nebyly uváděny.

9. Závěr

Tato bakalářská práce je rešerší, která se zaměřila na zplyňovací technologie, jež máme v dnešní době k dispozici, a jejich následné využití v praxi v České republice a zahraničí.

V první části jsou zmíněné samotné technologie zplyňování. Menší část textu se věnuje samotné historii zplyňování, pro uvědomění si, že se nejedná o žádnou novou myšlenku, jak získávat energii s konkrétními použitími v praxi např. za druhé světové války. Následuje základní charakteristika jednotlivých dějů při zplyňování (sušení, oxidace, redukce, pyrolýza) a popis jednotlivých typů reaktorů, kde je popsána jejich konstrukce, použití, výhody a nevýhody i princip fungování. Samostatná část je věnována zplyňování biomasy, jedná se v současnosti o nejrozšířenější a nejpoužívanější formu, protože je považována za obnovitelný zdroj energie s velkou nadějí do budoucna. Jsou zde konkrétní rovnice, které popisují jednotlivé děje, přibližné složení vyrobeného plynu, popis nejdůležitějších znečišťujících látek a použití výsledného plynu. Poslední technologii, které jsem se věnoval více je zplyňování pomocí plazmy, které se začíná pomalu rozšiřovat. Oproti klasickému zplyňování hlavním důvodem není výroba energie, což je vedlejší produkt, ale ekologická likvidace odpadu, kdy znečištění životního prostředí je menší než při běžném spalování a vzniklý odpad, už není nebezpečný a z dlouhodobého hlediska velmi stabilní s možností dalšího využití.

Druhá část je zaměřená na konkrétní příklady v praxi, kdy začátek je věnován historii zplyňování na území České republiky. Následuje popis nejdůležitějších zařízení a firem, které se v současnosti nebo nedávne historii technologií zplyňování věnovaly. Kromě historie samotných společností to zahrnuje hlavně výpis jejich technologií, případně v čem se liší a kde našly uplatnění. Část je věnována i výzkumným zařízením, které ne vždy slouží ke komerčním účelům. Zahraniční část se zaměřuje na ty firmy, jež se podílejí na výstavbě těch nejvýznamnějších projektů současnosti.

Samotné zplyňování v posledních letech nabývá čím dál většího významu a s důrazem na obnovitelnou energii a likvidaci odpadů je velmi pravděpodobné, že se bude nadále rozšiřovat i počet zařízení. I když se dá pozorovat určitá stagnace výstavby nových zařízení u nás, tak hlavně v západní Evropě za přispění dotací by do budoucna měla vzniknout největší zařízení na zplyňování biomasy na světě, která by už nemusela sloužit pouze na výrobu energie, ale i paliv pro motorová vozidla. Největší překážkou stále zůstává ekonomická nákladnost výstavby a provozu i velmi citlivé zařízení na jakoukoliv změnu, která se projevuje na výsledném složení paliva. Navíc ani velká dotace na začátku projektu není jistotou, že se daný projekt udrží a časem nezkrachuje.

Seznam použitých zdrojů

- [1] PEER, Václav a Pavel FRIEDEL. Zplyňování - principy a reaktory. *TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov*. [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [2] POHOŘELÝ, Michael a Michal JEREMIÁŠ. Zplyňování biomasy - možnosti uplatnění. *Biom :: biomasa, biopaliva, bioplyn, palety, kompostování, ...* [online]. 2010, 2010 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
- [3] MOLEK, Tomáš. Pyrolýza - princip, historie a současnost. *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. 2017 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost>
- [4] Gasification. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gasification>
- [5] POHOŘELÝ, Michael, Michal JEREMIÁŠ, Petra KAMENÍKOVÁ, Siarhei SKOBLIA, Karel SVOBODA a Miroslav PUNČOCHÁŘ. Zplyňování biomasy. *Chemické listy* [online]. 2012, **106**(4) [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/976/976>
- [6] NAJSER, Jan a Miroslav KYJOVSKÝ. *ENERGIE Z BIOMASY VII: ZPLYŇOVÁNÍ V EXPERIMENTÁLNÍM REAKTORU S PEVNÝM LOŽEM* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007 [cit. 2020-06-18]. ISBN 978-80-214-3542-1. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2007/ENBIO_2007.pdf
- [7] FRIEDEL, Pavel a Václav PEER. Nežádoucí látky vznikající při zplyňování. *TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov*. [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/14932-nezadouci-latky-vznikajici-pri-zplynovani>
- [8] *TAR PROTOCOL* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://tarweb.net/project-info/pdf/paper-sevilla.pdf>
- [9] MOLEK, Tomáš. Plazmové zplyňování odpadů - princip a využití. *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. 2015 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/plazmove-zplynovani-odpadu-princip-a-vyuziti>
- [10] Zemní plyn. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/zempl_4.html
- [11] BUREŠ, David. Alternativní paliva nejsou nic nového. Historické Škodovky jezdily na dřevoplyn! *Auto.cz - nejlepší jízda na webu: recenze, videa, testy* [online]. 2017 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/alternativni-paliva-nejsou-nic-noveho-historicke-skodovky-jezdily-na-drevoplyn-107758>
- [12] SMRČKA, Zbyněk. *Od uhlí k ropě: historie a současnost rafinérie v Litvínově* [online]. Most: ČESKÁ RAFINÉRSKÁ, 2011 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: http://www.petroileum.cz/upload/publikace/od_uhli_k_rope.pdf
- [13] Technologie zplyňování dřevní biomasy (vyvíjené společností TARPO spol. s.r.o.). *Česká asociace pro pyrolýzu a zplyňování* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/aplikovane-technologie/tarpo>
- [14] SKOBLIA, Siarhei, Zdeňek BEŇO, Jiří BRYNDA, Michael POHOŘELÝ a Ivo PICEK. *ENERGIE Z BIOMASY XVI: Zkušenosti s provozem víceetapových generátorů v ČR* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015 [cit. 2020-06-18]. ISBN 978-80-214-5286-2. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2015/ENBIO_2015.pdf

- [15] Elektrárna v Kozomíně: Unikátní česká technologie je už v ostrém provozu. *ABS-portal.cz :odborný portál, architektura, stavebnictví, byznys* [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/elektrarna-v-kozomine-unikatni-ceska-technologie-je-uz-v-ostrem-provozu>
- [16] PRODEJ ELEKTRÁRNY KOZOMÍN, okres Mělník, prodej v rámci úpadku společnosti BOR Biotechnology, a.s. *Veřejné dražby Gaute* [online]. 2019 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.verjedrazby.cz/aukce/prodej-elektrarny-kozomin-okres-melnik-prodej-v-ramci-upadku-spolecnosti-bor-biotechnology-a-s-4287/>
- [17] HOUŠKA, Oldřich. Na návštěvě v elektrárně, kde elektřinu vyrábějí s "čistým" využitím uhlí. *Technický týdeník* [online]. 2006 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/na-navsteve-v-elektrarne-kde-elektřinu-vyrabeji-s-cistym-vyuzitim-uhli_11688.html
- [18] Ve Vřesové se budou tlakově zplyňovat kaly. Homepage - Sokolovská uhelná [online]. 2018 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.suas.cz/10-suas/aktuality/885-ve-vresove-se-budou-tlakove-zplynovat-kaly>
- [19] Vřesová úspěšně zpracovala první kaly. Homepage - Sokolovská uhelná [online]. 2018 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.suas.cz/10-suas/aktuality/888-vresova-uspesne-zpracovala-prvni-kaly>
- [20] D.S.K. Engineering. *www.dskengineering.cz - projektování - výroba - servis* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.dskengineering.cz/>
- [21] ŠULC, Jindřich, Miroslav RICHTER, Karel SVOBODA a Jiří VACEK. Zplyňování biomasy s kogenerací. *Biom :: biomasa, biopaliva, bioplyn, palety, kompostování, ...* [online]. 2011 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/obnovitelny-zdroj-energie-zplynovani-biomasy-s-kogeneraci>
- [22] Technologie hydrotermální konverze (testované společností DEKONTA). *Česká asociace pro pyrolýzu a zplyňování* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/veda-a-vyzkum/dekonta>
- [23] Věda a výzkum: Zplyňování biomasy. *Automatizace, vzduchotechnika a montáže strojů: Temex.cz* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.temex.cz/pdf-tisk.php?id=19&hierarchie=6&verze=svetla&bez-referenci=>
- [24] nás: Slovo ředitele. *Automatizace, vzduchotechnika a montáže strojů: Temex.cz* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.temex.cz/clanky/onas/slovo-reditele.html>
- [25] PEER, Václav, Pavel FRIEDEL, Jan SKŘÍNSKÝ a Ján VEREŠ. Výzkumná zplyňovací technologie s autotermním generátorem. *TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov*. [online]. 2017 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/15453-vyzkumna-zplynovaci-technologie-s-autotermnim-generatorem>
- [26] *Ateko a.s.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.ateko.cz/>
- [27] DITTRICH, Martin. Zkušenosti se zplyňováním tříděného komunálního odpadu. *Biom :: biomasa, biopaliva, bioplyn, palety, kompostování, ...* [online]. 2002 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-se-zplynovanim-trideneho-komunalniho-odpadu>
- [28] PEER, Václav, Pavel FRIEDEL, Jan SKŘÍNSKÝ a Ján VEREŠ. Výzkumná zplyňovací technologie s autotermním generátorem. *TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov*. [online]. 2017 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/15453-vyzkumna-zplynovaci-technologie-s-autotermnim-generatorem>

- [29] Konstrukce a inženýring, výzkum a vývoj technologií. *Ateko a.s.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.ateko.cz/konstrukce-a-inzenyring-vyzkum-a-vyvoj-technologie>
- [30] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ, Přemysl KOHOUT a Ladislav OCHRANA. *ENERGIE Z BIOMASY IV: PROVOZNÍ PODMÍNKY VYSOKOTEPLOTNÍHO KATALYTICKÉHO FILTRU* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005 [cit. 2020-06-18]. ISBN 80-214-3067-2. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2005/ENBIO_2005.pdf
- [31] firmě: AIR TECHNIC s.r.o. *AIR TECHNIC s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.airtechnic.cz/cs/o-firme/>
- [32] Zplyňování biomasy – Bioelektrárna: AIR TECHNIC s.r.o. *AIR TECHNIC s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.airtechnic.cz/cs/zplynovani-biomasy-bioelektrarna/>
- [33] Millenium technologies. *Millenium technologies* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.millenium-technologies.cz/vtp-duba.html>
- [34] Millenium technologies. *Millenium technologies* [online]. 2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.millenium-technologies.cz/technologie.html>
- [35] MOLEK, Tomáš. Plazmové zplyňování odpadů - princip a využití. *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. 2015 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/plazmove-zplynovani-odpadu-princip-a-vyuziti>
- [36] BOSS engineering: spol. s. r. o. [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <http://www.bossinstalace.cz/>
- [37] REPOTEC: Biomass Gasification Systems for the Power Industry. *News on Renewable, Nuclear, Fossil, Technology, Market Data - Power ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.power-technology.com/contractors/renewable/repotec/>
- [38] References - REPOTEC. *Homepage - REPOTEC* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.repotec.at/index.php/references.html>
- [39] Plazmová technologie: Plazma. *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/plazmova-technologie.html>
- [40] Valmetin historia. *Valmet: technologies, services and automation to pulp, energy and ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>
- [41] About Us. *Valmet: technologies, services and automation to pulp, energy and ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valmet.com/about-us/>
- [42] Valmet Gasifier for biomass and waste. *Valmet: technologies, services and automation to pulp, energy and ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valmet.com/energyproduction/gasification/>
- [43] Fuel conversion for power boilers: Vaskiluodon Voima Oy, Vaasa, Finland. *Valmet: technologies, services and automation to pulp, energy and ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valmet.com/media/articles/all-articles/fuel-conversion-for-power-boilers-vaskiluodon-voima-oy-vaasa-finland/>
- [44] Highest electrical efficiency from waste: Lahti Energia, Lahti Finland. *Valmet: technologies, services and automation to pulp, energy and ...* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valmet.com/media/articles/all-articles/highest-electrical-efficiency-from-waste-lahti-energia-lahti-finland/>
- [45] Tradition and Innovation. *Combined Heat and Power Plants: Burkhardt Energy* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://burkhardt-gruppe.de/en/company/tradition/>

- [46] Company. *Combined Heat and Power Plants: Burkhardt Energy* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://burkhardt-gruppe.de/en/company/>
- [47] Gasification with wood pellets. *Combined Heat and Power Plants: Burkhardt Energy* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://burkhardt-gruppe.de/en/power-engineering/heat-and-power-from-wood/wood-gas-generator/>
- [48] Biomass power plants: cogeneration with wood. *Combined Heat and Power Plants: Burkhardt Energy* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://burkhardt-gruppe.de/en/power-engineering/heat-and-power-from-wood/>
- [49] Technologie zplyňování ENERGOS (pro energetické využití směsných komunálních odpadů). *Česká asociace pro pyrolýzu a zplyňování* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/aplikovane-technologie/energoss>
- [50] Projekty ve světě. *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/projekty-ve-svete.html>
- [51] Princip plazmového zplyňování komunálního odpadu. *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/plazmova-technologie/princip-plazmoveho-zplynovani-komunalniho-odpadu.html>
- [52] Plazmový reaktor od firmy Westinghouse Plasma Corporation ... *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/plazmova-technologie/plazmovy-reaktor-wpc.html>
- [53] Verifikovaná struska. *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/vliv-na-zivotni-prostredi/vitrifikovana-struska.html>
- [54] Emise do ovzduší. *Technologie plazmového zplyňování: Pgpt.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/vliv-na-zivotni-prostredi/emise-do-ovzdusi.html>

Seznam obrázků

- Obr. 4.1 Schéma protiproudého reaktoru [1]
- Obr. 4.2 Schéma souproudého reaktoru [1]
- Obr. 4.3 Schéma reaktoru s křížovým tokem [1]
- Obr. 4.4 Schéma fluidního reaktoru [1]
- Obr. 4.5 Schéma reaktoru s unášivým proudem [5]
- Obr. 7.1 Škoda 256 s úpravou na dřevoplyn [11]
- Obr. 7.2 Elektrárna Vřesová [18]
- Obr. 7.3 Schéma demonstračního zařízení v Prachovicích [27]
- Obr. 7.4 Schéma zplyňovací technologie v roce 2006 [28]
- Obr. 7.5 Stend Bifluid 100 [30]
- Obr. 7.6 Zplyňovací zařízení [33]
- Obr. 8.1 Zplyňovací zařízení v Güssingu [38]
- Obr. 8.2 Elektrárna Vaasa [43]
- Obr. 8.3 Elektrárna Lahti [44]
- Obr. 8.4 Zplyňovací zařízení V3.90 [47]

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Typické vlastnosti zplyňovacích generátorů - palivo dendromasa [5]

Tabulka 4.2: Požadavky na kvalitu paliva pro jednotlivé typy generátorů [5]

Tabulka 5.1: Vlastnosti produkovaného plynu [6]

Tabulka 5.2: Provozní požadavky na obsah nežádoucích látek v plynu [6]